

BADANIA NAD ZWIĘKSZENIEM FUNKCJONALNOŚCI EKTOPROTEZ SILIKONOWYCH

E. STODOLAK¹, H. MATRASZEK², A. GÓRA¹, S. BŁĄŻEWICZ¹

¹AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA,

WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I CERAMIKI,

KATEDRA BIOMATERIAŁÓW,

AL. MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKÓW

²UNIwersYTET JAGIELLOŃSKI, COLLEGIUM MEDICUM,

WYDZIAŁ LEKARSKI, KATEDRA PROTETYKI STOMATOLOGICZNEJ,

UL. MONTELUPICH 4, 31-155 KRAKÓW, POLSKA

Streszczenie

Silikonowe protezy twarzy (epitezy, ectoprotezy, protezy zewnętrzne) stosowane są u pacjentów, którzy w wyniku zabiegu chirurgicznego, w ramach leczenia chorób nowotworowych, wad wrodzonych, urazu utracili tkanki miękkie i twarde w zakresie twarzoczaszki np. oko, ucho, nos. Rekonstrukcje protezytyczne wykorzystuje się w przypadku, gdy metody chirurgii plastycznej są nieskuteczne lub nie mogą być zastosowane. Istnieją różne metody umocowania ectoprotez. Badania kliniczne i ankietowe wykazały, iż większość pacjentów w pierwszej kolejności wybierała kleje medyczne. Niestety kleje te charakteryzują się krótkim czasem trwałego przytwierdzenia protezy do miejsca ubytku. W pracy zbadano przyczepności trzech rodzajów materiałów silikonowych przytwierdzanych do skóry pacjentów za pomocą klejów i taśm komercyjnych. W celu poprawy adhezji tworzywa zastosowano dwa rodzaje modyfikacji powierzchni. Zbadano wpływ obróbki mechanicznej na powierzchnię silikonów (gwarantujący wzrost chropowatości powierzchni). Zbadano także skuteczność chemicznej metody obróbki powierzchni (trawienie tworzywa w roztworach kwasów nieorganicznych). Celem weryfikacji skuteczności zastosowanych metod modyfikujących powierzchnię opracowano metodę pomiaru adhezji pomiędzy materiałem polimerowym a badanym środkiem klejącym (taśma, klej) wykorzystując w tym celu układ uchwyty uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej.

Słowa kluczowe: ectoprotezy, modyfikacja powierzchni, silikon, adhezja

[Inżynieria Biomateriałów, 81-84, (2008), 31-35]

Wprowadzenie

W chirurgii estetycznej i plastycznej stosuje się nowoczesne materiały silikonowe, które umożliwiają odtworzenie uszkodzonych elementów twarzy. Dużą zaletą tych materiałów jest możliwość rekonstrukcji ubytku wraz z jego indywidualnymi cechami: zmarszczkami, naczyniami, znamionami [1,2]. Niestety w trakcie użytkowania ectoprotez wykonanych z silikonu pacjenci borykają się z trudnościami związanymi z trwałym przytwierdzeniem jej do skóry. Stosowane komercyjne środki klejące pozwalają na przytrzymanie ectoprotezy zaledwie przez kilka godzin [3]. Zwiększenie trwałości połączenia pomiędzy materiałem protezy a klejem (lub taśmą) wiąże się ze zmianą parametrów powierzchni tworzywa silikonowego. W zakresie metod modyfikacji powierzchni literatura dysponuje szeregiem metod zmienia-

INVESTIGATIONS ON IMPROVEMENT OF FUNCTIONALITY OF SILICONE ECTOPROSTHESES

E. STODOLAK¹, H. MATRASZEK², A. GÓRA¹, S. BŁĄŻEWICZ¹

¹AGH—UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY,

FACULTY OF MATERIALS SCIENCE AND CERAMICS,

DEPARTMENT OF BIOMATERIALS,

30 MICKIEWICZA AV., 30-059 CRACOW, POLAND

²JAGIELLONIAN UNIVERSITY, COLLEGIUM MEDICUM,

FACULTY OF MEDICINE, DEPARTMENT PROSTHETICS DENTISTRY,

4 MONTELUPICH STR., 31-155 CRACOW, POLAND

Abstract

Silicone facial prostheses (epitheses, ecto-prostheses, external prostheses) are applied for patients who lost soft and hard tissues in craniofacial area, e.g. eye, ear, nose, due to a surgical treatment; tumour diseases treatment; birth defects or injuries. Prosthetic reconstructions are used when plastic surgery methods are ineffective, or cannot be applied. There are various methods of the ecto-prostheses fastening. Clinical tests and surveys revealed that the first choice for the majority of patients is medical glues. However, such glues can provide only short-time fastening of prosthesis to the damaged area. The work presents results of investigations on adhesion of three kinds of silicone materials fastened to patients' skin with the use of commercial glues and adhesive tapes. In order to improve the materials' adhesion two methods of their surface modification were applied. Influence of a mechanical treatment on the materials' surface was investigated. Effectiveness of the surface chemical treatment i.e. etching of the materials with inorganic acids solutions was investigated. In order to verify effectiveness of the applied surface modification methods a testing method of adhesion between the material and the adhesive agent i.e. adhesive tape or glue was developed. The testing method utilised a universal testing machine.

Keywords: ecto-prosthesis, surface modification, silicones, adhesion

[Engineering of Biomaterials, 81-84, (2008), 31-35]

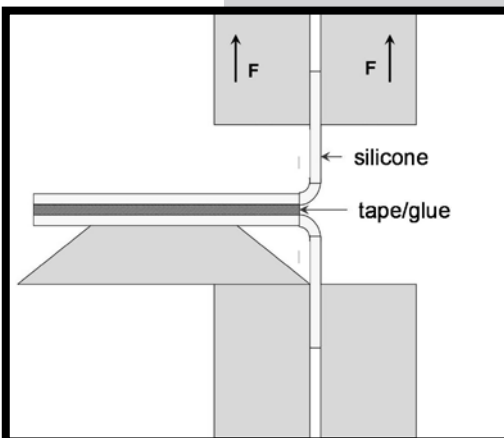
Introduction

In plastic and esthetical surgery novel silicone materials are applied, which allows to reconstruct damaged parts of a face. Considerable advantage of these materials is an ability to reconstruct the damaged area with all its individual features i.e. wrinkles, vessels, ratings etc. [1,2]. However, during utilization of the silicone prostheses the patients often encounters problems with their fastening to the skin. Applied commercial adhesive agents allow fastening of the prosthesis to the skin only for a few hours [3]. Increase of durability of an interconnection between the prosthesis material and glue or a tape is related to a change of the silicone material surface properties. There exists a wide variety of the silicone material surface modification methods [4]. Due to a medical application of the investigated materials, the modification cannot lead to change of their structure

jących powierzchnię tworzywa silikonowego [4]. Z uwagi na medyczne zastosowanie badanych tworzyw modyfikacja, jakiej poddaje się materiały silikonowe nie może powodować zmiany struktury a tym samym biogodności materiału. Konieczną jest natomiast zmiana charakteru powierzchni tworzywa tylko w obrębie warstwy wierzchniej. W zakresie metod spełniających te warunki pozostają: szczepienie jonowe, naświetlanie plazmą czy nakładanie warstw złożonych z blend polimerowych [5,6]. Niestety przedstawione metody często są pracochłonne lub niepowtarzalne stąd mało praktyczne dla potencjalnego użytkownika (pacjenta, lekarza, protetyka).

Problem przytwierdzania protez silikonowych pozostaje, zatem problemem wciąż otwartym ze względu na nietypowy charakter samych tworzyw, jakie stosuje się na ektoprotezy. W niniejszej pracy podjęto próbę modyfikacji powierzchni materiałów silikonowych wykorzystywanych do wykonywania ektoprotez. Próba taka miała na celu zwiększenie adhezji pomiędzy tworzywem a standardowym klejem/taśmą mającym atest Ministerstwa Zdrowia. Zastosowano dwa rodzaje modyfikacji, które w założeniu nie wpływają na stan chemiczny materiału, zmianę struktury czy właściwości biologicznych. Zachowana zostaje biogodność materiału. Zmianie ulega jedynie warstwa wierzchnia, do której przytwierdza się środek klejący.

Spodziewano się, że w procesie modyfikacji fizycznej wzrośnie chropowatość powierzchni ektoprotezy (rozwiniecie powierzchni tworzywa wzrośnie). W efekcie nastąpi wzrost przyczepności do powierzchni protezy silikonowej. Drugą metodą służącą do zmiany charakteru powierzchni była kontrolowana modyfikacja chemiczna. W tym wypadku spodziewano się zmiany tylko w obrębie warstwy wierzchniej materiału protezy. Badane silikon przetrzymywano w kąpielach ze stężonych kwasów nieorganicznych. W celu zbadania skuteczności zastosowanych metod modyfikujących silikon wykorzystano znane z literatury metody pomiaru kąta zwilżania i energii powierzchniowej. Oprócz tego opracowano metodę pomiaru siły adhezji na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej. Schemat pomiarów adhezji przedstawiono poniżej (RYS. 1). W układ uchwytów maszyny wprowadzono badane materiały, uprzednio sklejone. Stała prędkość poruszania się maszyny i jej czułość pozwoliły na rejestrację siły potrzebnej do oderwania sklejonych powierzchni materiału. Metoda ta pozwoliła na obliczenie siły adhezji pomiędzy warstwami tworzywa a środkiem klejącym przypadającą na jednostkę nowo powstałej powierzchni.



RYS. 1. Schemat układu pomiarowego zastosowanego do badania przyczepności.
FIG. 1. Schematic diagram of the adhesion force measurement set.

and biocompatibility. The surface characteristic should be changed only in the surface layer. The only methods which fulfil these requirements are; ion grafting, plasma exposure or coating with layers of polymer blends [5,6]. However, the above mentioned methods are often time-consuming or non-repeatable, thus impractical for their potential user i.e. patient or a prosthetic doctor.

Thus, the problem of fastening of the silicone prostheses remains still open due to an atypical character of the materials used as ecto-prostheses. The work presents results of the investigations on the modification of the silicone materials used for the ecto-prostheses fabrication. Aim of the investigations was increase of adhesion between silicone materials and typical medical glues/adhesive tapes which have the Certificate of the Health Ministry. In theory, the applied methods of modification should not have changed material's chemical state, its structure or biological properties. Thus, the material's biocompatibility should remain unchanged. The only altered part of the material is its surface layer, to which an adhesive agent is fastened.

It was supposed, that the physical modification process would lead to the higher surface roughness of the ecto-prosthesis i.e. surface area of the material would increase. It would lead to increased adherence to the silicone prosthesis surface. The second method applied to change of the surface characteristics was a controlled chemical modification. In this case, only the change in the surface layer of the prosthesis material was expected. The investigated silicone materials were kept in concentrated inorganic acid solutions. In order to verify effectiveness of the applied silicone modification methods, wetting angle and surface energy of the materials were measured by using standard methods.

Additionally, a method of an adhesion force measurement based on a standard testing machine was developed. Schematic diagram of the adhesion force measurement is presented below (FIG. 1). Two pieces of the silicone material stuck together with the adhesive agent were introduced into the universal testing machine grips set. Constant rate of the machine cross-bar movement (20 mm/min) and its sensitivity allowed recording of a force necessary to tear off the stuck materials surfaces. The method allowed calculation of the adhesion force acting between the materials' surfaces and the adhesive agent which was attributed to a unit area of the newly created surface.

Materiały i metody

Badania przyczepności materiałów silikonowych mocowanych za pomocą dostępnych środków komercyjnych przed i po modyfikacji (fizycznej, chemicznej) przeprowadzono dla trzech typów tworzyw przeznaczonych na protezy silikonowe. Różnice pomiędzy badanymi materiałami wynikały z warunków prowadzonej polimeryzacji. Zestawienie materiałów posłużyło do nadania im nazw poprawiających czytelność opracowanych wyników:

- Silikon 1, materiał polimeryzowany w 20°C/24h
- Silikon 2, materiał polimeryzowany w 60°C/2h
- Silikon 3, materiał polimeryzowany w 20°C/48h

Materials and methods

Investigations of adhesion of the silicone materials fastened with commercial adhesive agents before and after the modification (physical or chemical) were carried out for three types of materials destined for silicone prostheses. Differences between the investigated materials resulted from different conditions of their polymerisation:

- Silicone 1, polymerisation at 20°C/24h
- Silicone 2, polymerisation at 60°C/2h
- Silicone 3, polymerisation at 20°C/48h

TABELA 1. Charakterystyka fizykochemiczna materiałów silikonowych poddanych badaniom.
TABLE 1. Surface physicochemical characteristics of the silicones.

Material Material	Kąt zwilżania Wetting angle [°]	Energia powierzchniowa Free surface energy [mJ/mm]
Silicone 1	124±1.26	22.4±2.54
Silicone 2	132±2.38	20.9±6.15
Silicone 3	121±3.14	23.6±4.21

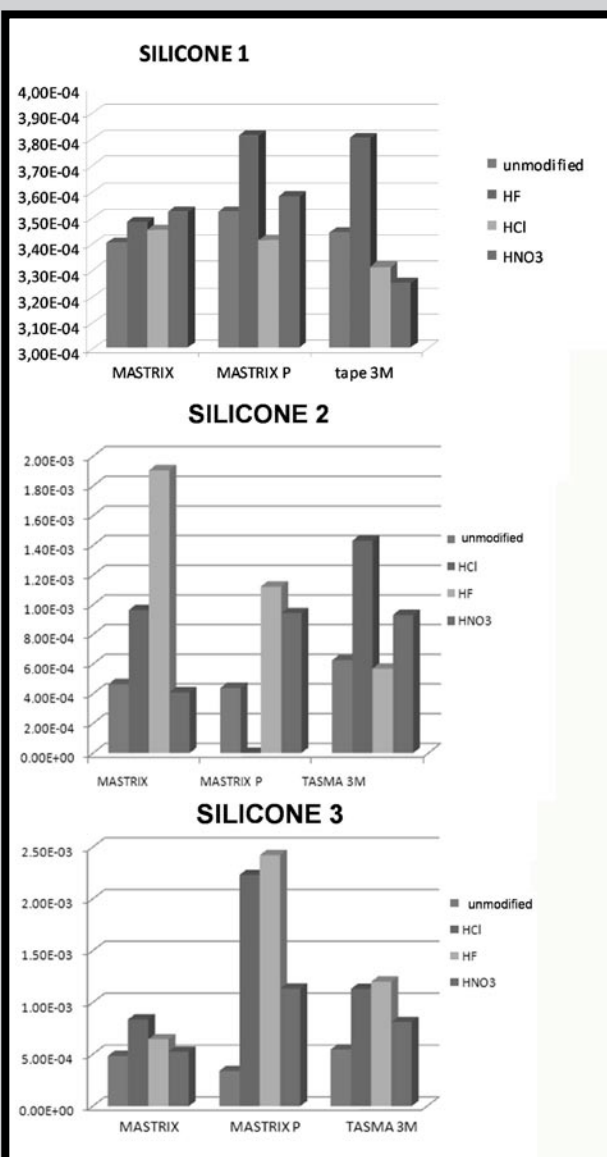
TABELA 2. Zwilżalność powierzchni materiałów silikonowych poddanych obróbce fizycznej.
TABLE 2. Wettability of the surface of the physically modified silicones.

Material Mesh	Kąt zwilżania [°] Wetting angle [°]				
	36	120	240	300	2000
Silicone 1	123±2.14	124±4.12	122±2.31	124±1.96	124±1.26
Silicone 2	131±1.89	132±3.18	130±3.82	132±2.92	132±1.56
Silicone 3	122±2.42	121±1.94	120±4.18	121±4.14	122±2.53

TABELA 3. Charakterystyka fizykochemiczna materiałów silikonowych poddanych trawieniu.
TABLE 3. Surface physicochemical characteristics of the silicones after etching.

Material Material		Kąt zwilżenia Contact angle [°]	Energia powierzchniowa Surface free energy [mJ/mm]
Silicone 1	HNO ₃	122 ± 1,56	24,4 ± 1,95
	HCl	121± 7,31	26,1 ± 5,92
	HF	120± 3,19	25,9 ± 5,17
Silicone 2	HNO ₃	131 ± 2,81	21,7 ± 3,59
	HCl	127± 4,73	22,3± 5,3
	HF	122 ± 2,7	24,7 ± 3,1
Silicone 3	HNO ₃	120 ± 3,14	24,2 ± 2,41
	HCl	110 ± 2,84	23,8 ± 3,19
	HF	105,7 ± 2,9	22,9 ± 2,8

Dla każdego z wymienionych materiałów przeprowadzono badania wstępne charakteryzujące właściwości fizykochemiczne czystej niemodyfikowanej powierzchni tworzywa. Charakterystykę stanu powierzchni badanych materiałów dokonano metodą dynamicznego pomiaru kąta zwilżenia, używając aparatu DSA 10 Kruss (Niemcy). Swobodną energię powierzchniową wyznaczono metodą Owensa-Wendta. Parą cieczy pomiarowych była woda podwójnie destylowana UHQ i diiodometan (Aldrich Chemical Co., USA). Wyniki badania zebrano w TABELI 1. Wyjściowe materiały poddano modyfikacji fizycznej polegającej na ścieraniu wierzchniej warstwy silikonu materiałami ściernymi o różnych gradacjach (36, 120, 240, 300, 2000). Skuteczność metody przeprowadzono poprzez pomiar kąta zwilżenia metodą pomiaru bezpośredniego (TABELA 2). Brak istotnych zmian w zwilżalności powierzchni badanych materiałów pozwolił na wykluczenie tej metody modyfikacji z dalszych badań. Tworzywa silikonowe pozostały nadal hydrofobowe. Skutkiem tego była rezygnacja z badań nad przyczepnością materiału (klejonego taśmą/klejem) za pomocą maszyny wytrzymałościowej. W dalszej części pracy zastosowano chemiczną obróbkę powierzchni silikonu (trawienie chemiczne). Materiały przetrzymywano przez 15 minut w roztworach kwasów nieorganicznych (65% HNO₃, 36% HCl, 50% HF). W celu sprawdzenia skuteczności modyfikacji powierzchni wyznaczono kąt zwilżenia po-



RYS. 2. Wyniki pomiarów przyczepności materiałów silikonowych modyfikowanych powierzchniowo (trawienie w kwasach nieorganicznych; HF, HCl, HNO₃).

FIG. 2. The adhesive force of the chemically modified silicones (etching in inorganic acids solutions: HF, HCl, HNO₃).

Pure, unmodified surface of each material was investigated in order to characterise its physicochemical properties. The surface state characteristics analysis was carried out with a dynamic method of wetting angle measurement using DSA 10 (Kruss, Germany) apparatus. The free surface energy was determined using Owens-Wendt method. The measurement liquids couple was double-distilled UHQ water and diiodomethane (Aldrich Chemical Co., USA). The results are presented in TABLE 1. The silicones were physically modified by grinding of their surface layer with abrasive mesh (abrasive papers) of different gradation i.e. 36; 120; 240; 300 and 2000. Effectiveness of the method was verified by a direct measurement of the wetting angle (TABLE 2). Lack of significant changes of the wetting angle of the physically modified silicones, which meant that the silicones still remained hydrophobic, allowed to excluded this method of modification from the further studies. Because of that, the adhesion force measurements were not performed for these materials.

wierzchni silikonu oraz określono energię powierzchniową. Każdy ze zmodyfikowanych materiałów silikonowych (po trawieniu w roztworach kwasów) poddano testom przyczepności w układzie przedstawionym schematem we wstępie (RYS. 1). Badania wykonano na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Zwick 1435 (Niemcy) w warunkach statycznych. Oszacowano przyczepność materiałów (siłę potrzebną do oderwania materiału z powierzchni jednostkowej). Tworzywa silikonowe pocięto w paski sklejono za pomocą środków komercyjnych, którymi były:

- klej MASTRIX gum (firmy KRYOLAN),
- klej MASTRIX P (firmy KRYOLAN),
- taśma 3M (firmy 3M).

Taśmę PROSTHETIC odrzucono ze względu na brak przyczepności do wytrawionej powierzchni materiałów silikonowych (sklejone powierzchnie rozchodziły się niezależnie od obecności taśmy czy też nie). Górny uchwyt, poruszał się ze stałą prędkością 20 mm/min. Przyczepność [N/mm²] materiałów oszacowano z pomiarów siły zrywającej [N] przypadającej na określoną powierzchnię [mm²]. Wybierając zakres gdzie odkształcenie pozostawało na stałym poziomie (20-80 mm) odczytano wartości siły służącej do oderwania sklejonych powierzchni. Wartość siły adhezji mierzonej w N/mm² przedstawiono na RYSUNKACH 2 a,b,c.

Dyskusja wyników

Z przedstawionych w pierwszej części badań wstępnych na tworzywach silikonowych niemodyfikowanych (stanowiących odniesienie), wynika, że: wszystkie tworzywa są materiałami silnie hydrofobowymi (wysoki kąt zwilżania). Materiały charakteryzują się równocześnie niską energią powierzchniową (ok. 20 mJ/mm²). Te dwa parametry: zwilżalność i energia powierzchniowa składają się na niską przyczepności tych materiałów. Stosowane komercyjne środki klejące pomimo swego składu chemicznego (obecności składników organicznych) nie są w stanie zwilżyć odpornej chemicznie powierzchni silikonu.

Zastosowana metoda modyfikacji mechanicznej (ścieranie środkami ściernymi o różnych gradacjach) nie wpływa na poprawę parametrów fizykochemicznych powierzchni (wartość kąta zwilżania przed i po modyfikacji pozostaje na tym samym poziomie (Silikon 1 ok. 123°, Silikon 2 ok. 30°, Silikon 3 ok. 120°). Trawienie chemiczne warstwy wierzchniej różnymi kwasami nieorganicznymi przyniosło poprawę właściwości adhezyjnych. Obserwowana zmiana zwilżalności powierzchni koreluje z wzrostem energii powierzchniowej. Największą zmianę przyczepności i wzrost adhezji tworzywa silikonowego (o ok. 20%) obserwuje się dla pary: Silikon 2 (trawiony HF) łączony za pomocą kleju MASTRIX. Podobne zachowanie widoczne dla pary: Silikon 3 (trawiony HF) i klej MASTRIX P. Mniejszy wzrost siły adhezji silikonu do powierzchni kleju obserwowany jest po zastosowaniu modyfikacji chemicznej roztworem kwasu chlorowodorowego (niewielki spadek kąta zwilżania, TABELA 3). Najsłabszą przyczepnością charakteryzują się silikonu trawione kwasem azotowym (V).

W przypadku użycia jako złącza adhezyjnego taśmy 3M, najlepsze wartości siły adhezji obserwuje się gdy tworzywo poddaje się trawieniu kwasem HCl.

Niestety zastosowane metody modyfikacji powierzchni materiałów silikonowych w aspekcie poprawy ich właściwości adhezyjnych nie przyniosły pożądaných rezultatów. W wyniku badań stwierdzono poprawę przyczepności tworzywa klejonego środkami komercyjnymi. Wydaje się jednak, że jest ona nadal zbyt niska. Wiąże się to z specyfiką samych materiałów silikonowych, które znane są ze swej odporności na obróbkę chemiczną jak i termiczną.

In the further studies the silicones surfaces were chemically modified by etching. The materials were kept for 15 minutes in inorganic acids solutions i.e.: 65% HNO₃, 36% HCl, or 50% HF. In order to verify effectiveness of this modification method the wetting angle and the free surface energy were determined (TABLE 3).

Each of the chemically modified silicones was subjected to the adhesive force measurements in the set presented in FIG. 1. The measurements were carried out in static conditions using a universal testing machine Zwick 1435 (Germany). Adherence of the materials i.e. force necessary to tear off a unit area of the material was estimated. The silicones were cut into strips and joined with commercial adhesive materials such as:

- MASTRIX (KRYOLAN, glue)
- MASTRIX P (KRYOLAN, glue)
- 3M adhesive tape (3M)

PROSTHETIC adhesive tape was rejected from the further studies due to lack of adherence to the etched silicone surfaces. An adhesive force [N/mm²] of the materials was estimated from the measurements of a tear-off force [N] per specified surface area [mm²]. The tear-off force value was read in a region of a constant strain (20-80 mm). Results of the adhesive force measurements are presented in FIG. 2c.

Discussion

The results of studies of the non-modified silicones (reference materials) indicated that all materials were highly hydrophobic i.e. were characterised by high wetting angle. Simultaneously, the silicones were characterised by a low free surface energy c.a. 20 mJ/mm². These two factors i.e. wettability, and the surface energy were responsible for low adherence of the silicones. Commercial adhesive materials, despite their chemical composition i.e. presence of some organic compounds, are not able to wet a chemical-resistant surface of a silicone.

The applied mechanical modification, i.e. grinding with abrasive materials of different mesh, did not improved physic-chemical parameters of the silicones surfaces. The wetting angle value before and after the modification remained at the same level i.e. for Silicone 1 $\Theta=123^\circ$; Silicone 2 $\Theta=30^\circ$; Silicone 3 $\Theta=120^\circ$.

Chemical etching of the silicones surfaces with different inorganic acids solutions improved their adhesive properties. The observed change of the surface wettability correlated with increase of the free surface energy. The highest increase of the silicone adherence for about 20% was observed in case of a pair: Silicone 2 etched with HF and MASTRIX glue. Similar behaviour was observed in other pair: Silicone 3 etched with HF and MASTRIX P glue. Lower increase of the adhesive force acting between a silicone and glue was observed in case of etching with hydrochloric acid (small drop of the wetting angle, TABLE 3). The lowest adhesive force was revealed by the silicones etched with nitric acid. In case of application of 3M type as an adhesive agent the highest values of adhesive force was observed in the silicones etched with HCl acid.

During the investigations some improvement of adherence of the silicone fastened with the commercial adhesive agents was recorded, but still it seemed to be too low. It was related to a character of silicones, which are well-known for chemical and thermal resistance. Next step of investigations on improvement of silicones adherence should be a development of coatings showing better adhesive properties, or improvement of medical glues [7].

Wydaje się również, że w kolejnym kroku prac badawczych nad poprawą przyczepności silikonów może być opracowanie powłok, wykazujących lepszą adhezyjność lub udoskonalenie stosowanych dotychczas klejów [7].

Podsumowanie

Zastosowane metody modyfikacji (trawienie chemiczne) nie zmieniły chemicznej struktury powierzchni tworzywa (a więc jej biogodności) ale w niewielkim stopniu poprawiły przyczepność silikonu.

Piśmiennictwo

- [1] W. Więckiewicz, A. Kopczyński; Dwuetapowa rehabilitacja protetyczna pacjenta po chirurgicznym usunięciu guza szczęki i gałki ocznej – opis przypadku, Czas Stomatol. 2000: 53 (4) 248-251.
- [2] G. Arentowicz, G. Gehl, F. Czerwiński, G. Psut; Rekonstrukcja protetyczna nosa zewnętrznego na bazie śródkostnych wszczepów tytanowych, Implantoprotetyka 2006 7(1) 3-9.
- [3] H. Matraszek, E. Stodolak, S. Błażewicz; Protezy twarzy-aspekty medyczne i technologiczne, Inżynieria Biomateriałów, 69-72, (2007), 118-121.
- [4] Tariq Aziz, M. Waters, R. Jagger; Surface modification of an experimental silicone rubber maxillofacial material to improve

Summary

The applied modification methods (chemical etching) did not changed chemical structure of the silicones surfaces, and thus their biocompatibility, but improved the silicone adherence only in a small degree.

wettability; Journal of Dentistry (2003) 31, 213–216.

References

- [5] T. Kobayashi, T. Yokota, R. Kato, Y. Suzuki, M. Iwaki, Surface modification of silicone medical materials by plasma-based ion implantation; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 257 (2007) 128–131.
- [6] T. Kobayashi, R. Katou, T. Yokota, Surface modification of silicone sheets and tubes using plasma-based ion implantation; Surface & Coatings Technology 201 (2007) 8039–8042.
- [7] M. P. Schwartz, F. Cunin, W. Cheung, Chemical modification of silicon surfaces for biological applications; Physica State Solid 202, (2005) 8, 1380–1384.